

VARIACIONES DEL CLIMA, SEQUIA Y DESERTIZACION

La pregunta acerca de si cambia o no el clima siempre despierta gran interés y, por lo general, la mayoría de las opiniones apuntan afirmativamente. Y en especial, cuando el tiempo atmosférico ofrece una marcada tendencia de un cierto signo, por ejemplo, en los largos periodos de sequía, el tema alcanza su máxima actualidad. Y el caso no es para menos. Pocas cosas suscitarían tan profundas alteraciones en una sociedad, como un profundo cambio climático. La decadencia de Egipto estuvo marcada por una lentísima variación en las condiciones meteorológicas. La época de esplendor de Cartago hay que considerarla dentro de un marco climático y ecológico muy distinto del actual: grandes bosques, que permitían una potente industria naval, fértiles campos, importantes cultivos de grano y, en resumen, un panorama con una pluviometría donde posiblemente no eran excepcionales las precipitaciones anuales superiores a los 1.000 mm. Por otra parte, si por un momento imagináramos que en el interior de África reinaran ahora las estructuras climatológicas de hace algo más de tres mil años, la configuración política y las fronteras de los estados hubieran sido muy diferentes a la surgida después de la Segunda Guerra Mundial.

Hay hechos objetivos que permiten suponer que se están produciendo mutaciones en el curso de los fenómenos atmosféricos. Hoy están presentes en la atmósfera multitud de gases que no lo estuvieron anteriormente; muchos de ellos sabemos positivamente que ejercen acusada influencia en el balance solar de la radiación. El enturbiamiento de la atmósfera, por causa de la contaminación industrial o urbana, tiene como efecto inmediato reducir la radiación solar que llega al suelo. Por otro lado, el hombre ha transformado profundamente la estructura de la superficie terrestre, y con ello ha modificado su albedo. Se han desecado lagunas naturales en unos sitios, y en otros se han creado embalses artificiales. La atmósfera absorbe continuamente cantidades enormes de calor, producidas al quemar continuamente combustibles fósiles y de otra naturaleza. Por si fuera poco, la producción de dióxido de carbono crece continuamente, alterando profundamente el mecanismo de la radiación terrestre. Además, la capa grasienta que cubre parcialmente los océanos ha modificado los mecanismos de evaporación, y posiblemente ha alterado la estructura del albedo de la superficie de los mares que, al ser variable con su temperatura, ha venido constituyendo uno de los más eficaces termostatos del planeta.

Es un error creer que los cambios climáticos suceden con una lentitud tal, que da tiempo sobrado para que, a la par, el medio ambiente, las estructuras sociales, económicas, ecológicas y aun biológicas se adapten con facilidad y sin trauma a tales modificaciones climáticas. Es cierto que la atmósfera se comporta como un sistema verdaderamente eficaz en orden a reaccionar frente a causas que puedan distorsionar su funcionamiento. Lo que no estamos tan seguros es que tales reacciones de la atmósfera se produzcan con la velocidad que el hombre quisiera. Por ello, si ahora se consolidaran las sospechas de que hay cambios climáticos en marcha que pueden conducir a pavorosos problemas alimenticios y económicos, en el plazo de unos decenios, poco consuelo aportaría el pensar que tales cambios estarán corregidos y superados dentro de doscientos mil años.

El hombre ha jugado un gran protagonismo en la historia del clima. En el mismo, las modificaciones antropogénicas son posiblemente mucho más importantes de lo que se ha venido suponiendo. En el capítulo de estas acciones antropogénicas, hay algo muy importante que es preciso destacar: en los últimos tiempos han sido mucho más rápidas y devastadoras que en cualquier otra época anterior, si

bien hay que puntualizar que la acción del hombre en el medio no es exclusiva de este último siglo.

Fluctuación y cambio

Un análisis histórico del clima, plantea desde su comienzo un problema de muy sencillo enunciado y de muy difícil solución: encontrar una diferenciación basada en criterios objetivos, entre cambio y fluctuación. En la propia definición del clima, encontramos la expresión: «conjunto fluctuante», lo que indica a las claras que en el concepto de clima está implícita la oscilación o la fluctuación de sus elementos. Cuando las oscilaciones son de tal entidad que marcan una tendencia tal, que hay un significativo desplazamiento de sus índices de centralización, o aun en sus índices de dispersión, decimos que se ha producido un cambio climatológico. No resulta sencillo el establecer en forma objetiva dónde se encuentran los umbrales de la fluctuación y los del cambio. Tales umbrales deberían quedar definidos por parámetros intrínsecos a las propias series climatológicas. Sin ir más lejos, sería preciso ponerse de acuerdo acerca de si, al producirse un cambio climático verdaderamente significativo, la serie pierde o no su homogeneidad.

Desertización y aridez

Desertización es tanto como transformación en desierto.

En cuanto a la definición de desierto, no hay acuerdo pleno entre los autores. Para Miller se puede hablar de desierto cuando no es posible en forma permanente la vida sin medios artificiales extraordinarios. Los criterios pluviométricos en cuanto a la definición de desierto, no son siempre válidos. Con precipitaciones de 400 mm anuales, hay algunas áreas desérticas en África, donde localmente corresponden a lluvias torrenciales erosivas, en un breve período, asociado con movimiento anual de las convergencias intertropicales. En cambio, en Australia hay zonas de cultivo de cereales de ciclo rápido, con precipitaciones no superiores a los 300 mm anuales. El concepto de clima desértico, si nos atenemos a la definición de Köppen, es muy claro y, en cambio, el de desierto es un concepto geográfico que sólo puede definirse mediante criterios climatológicos.

La aridez es tanto como insuficiencia de la precipitación. Los índices tradicionales como los de Martonne han sido superados con el concepto de evapotranspiración. En cualquier caso, un incremento de la temperatura, sin un crecimiento paralelo de la precipitación, supone una mayor aridez.

Los procesos de aridificación han quedado patentes en la historia. En el conjunto Europa-Africa, los cambios en épocas históricas han sido muy evidentes. El actual Sahara era muy diferente en el siglo VII; el sureste español era mucho más húmedo en la era de dominación musulmana; Fuerteventura, «Herbania», era famosa en el siglo I por su producción de trigo, y aun en el siglo XVII un amplio río cruzaba la ciudad de Las Palmas.

La evolución del clima hacia una mayor aridez en la zona Península Ibérica-Africa del Norte es algo difícil de refutar; sin embargo, tal evolución ha sido compleja y, sobre todo, no ha sido uniforme. Sería demasiado simplista y no se ajusta a la realidad el suponer que en los últimos milenios ha habido un proceso lento de reducción de la precipitación, acompañado de otro menos perceptible de calentamiento. Más simplista sería aún el suponer que la aridificación ha seguido una marcha uniforme de Sur a Norte. La aridificación ha tenido una serie de pul-

saciones en las cuales ha habido un rápido avance de las zonas áridas, generalmente, aunque no siempre, hacia el Norte en nuestro hemisferio. Podrían vislumbrarse algunas de estas pulsaciones quizá hacia los siglos V, XI, XVII y, sobre todo, en el actual.

Pero insistimos que el proceso ha sido de gran complejidad y muchas cosas quedan aún por aclarar. A finales del XVIII hay una serie de años muy secos en España y notable déficit de grano. En cambio, en esos mismos años, hay excelentes cosechas en Marruecos. La política de Godoy con relación a Marruecos quedaba condicionada con las importaciones de trigo marroquí, muy significativas entonces. En años muy recientes hemos visto avanzar los desiertos hacia el Sur, en la zona del Sahel y, actualmente, hacia las tierras del Este africano, en los altiplanos de Etiopía, anteriormente húmedos.

El curso secular de las temperaturas es todavía más complejo. No podemos, sin más, admitir que hoy disfrutemos o padezcamos temperaturas significativamente superiores a las de hace mil años. Hay un testimonio evidente, y es la presencia de la vid, con notable generalidad, en la Edad Media en España, incluso en las regiones más frías. Como observa Sánchez Albornoz, es una constante en las ilustraciones de documentos en el siglo X y parte del XI, la reproducción de lagares; concretamente aparecen referidos al reino de León, una de las áreas de más rigurosas temperaturas de la Meseta Superior.

Las oscilaciones térmicas han sido evidentes. En el siglo XVI por dos veces se helaron los ríos de Europa y en España hubo años en que el invierno no existió. Hay referencias en el siglo XVIII de un periodo de cuarenta años sin apenas nevadas, seguido de algún invierno excepcionalmente crudo. El siglo XIX, en conjunto, resultó frío, pese a que al iniciarse la revolución industrial y el uso intensivo del carbón, el crecimiento del dióxido de carbono debió ser importante. Hay que señalar, no obstante, que en dicha centuria la actividad volcánica fue muy importante, y hubo nubes de cenizas muy persistentes que, sin duda, redujeron la radiación solar incidente en el suelo. A lo largo del siglo XX, la temperatura ha crecido y se estima que, al finalizar el presente siglo, el incremento de la temperatura media será del orden de medio grado centígrado. Sin embargo, hubo un pasajero retroceso, entre 1940 y 1960, evaluado en $0,2^{\circ}$ en la temperatura media terrestre.

Las anteriores referencias históricas no son más que un botón de muestra de la infinidad que se podrían presentar, hasta el punto de que no sería demasiado exagerado el afirmar que, detrás de cada suceso histórico relevante, hay un condicionante climatológico más o menos directamente involucrado.

Todo esto es motivo de enorme preocupación en el mundo; el tema de la variabilidad del clima, y en qué grado puede afectarnos, ha dejado de ser un tópico del que de vez en cuando se ocupa la opinión, para plantearse como uno de los mayores desafíos que tiene el hombre de hoy. La Organización Meteorológica Mundial, en primer lugar, y también otros organismos internacionales, tiene en marcha importantes planes que incluyen estudios muy serios, apoyados en redes de observación y en estudios de gran solvencia. En esta línea habría que citar los Programas Mundiales del Clima y de la Investigación Climática, y también, de manera especial, el programa de observación de la contaminación ambiental (EPMP) al que España presta una importante contribución.

Modelos matemáticos

La simulación de modelos matemáticos es actualmente una metodología muy empleada en el estudio del futuro del clima terrestre. En esencia, se pretende

encontrar una formulación del clima en función de sus componentes, y estudiar los posibles efectos cuando se modifica alguno de sus componentes, por ejemplo, la radiación solar.

Estos modelos matemáticos se han perfeccionado mucho a lo largo de los últimos quince años, aunque es preciso señalar que, un modelo absolutamente satisfactorio no se ha encontrado todavía, entre otras razones, por la extraordinaria complejidad de todos los factores involucrados en el clima.

El impacto del dióxido de carbono

Entre las causas susceptibles de mayor impacto en el clima se encuentra el continuo aumento de la proporción del anhídrido carbónico en la atmósfera. Este gas, incoloro, inodoro, no tóxico, comienza a crecer en forma acusada cuando el hombre descubre el fuego. La combustión de compuestos del carbono tiene dos efectos: la aportación de calor a la atmósfera y el efecto posterior de retener el dióxido de carbono en la atmósfera la radiación terrestre entre las 14 y las 17 micras que, en ausencia de dicho gas, se hubiera lanzado al espacio exterior.

A partir de 1958, y con ocasión del Decenio Geofísico Internacional, se iniciaron evaluaciones sistemáticas del contenido del CO_2 a escala planetaria, basadas principalmente, aunque no exclusivamente, en la estación de Mauna Loa, en Hawái, ideal por su alejamiento de los continentes. En 1958 se evaluó la proporción de dióxido de carbono en 315 partes por millón, en peso; desde entonces el crecimiento ha sido de casi un punto por año y ahora se excede ya de 340 p.p.m.

La OMM ha venido prestando señaladísima atención a este aspecto concreto de la contaminación, y ha recomendado prestar la máxima prioridad a los problemas específicos de CO_2 , y también, el estudio de los sumideros naturales del anhídrido carbónico.

Las consecuencias de un crecimiento acelerado del CO_2 a lo largo de los próximos decenios podrían ser sumamente inquietantes.

Las opiniones de los primeros tratadistas mundiales, en materia de clima, son casi unánimes en cuanto al impacto del CO_2 en cambios climáticos a plazos no largos. Es extraordinariamente instructiva la obra *The Earth's Climate; Past and Future*, de Budyko, del Observatorio Geográfico de Leningrado. Para dicho autor, la cosa está muy clara: el CO_2 ha jugado un papel decisivo en la evolución del clima. Apoya la teoría del incremento de medio grado en los próximos veinte años e incluso la posibilidad de que para el año 2020 el incremento en altas latitudes sea de unos $2,5^\circ$. El sueco Wallen hace algunas matizaciones en estas cifras, en el sentido de que en 1980, fecha de la publicación original de la obra de Budyko, el crecimiento del CO_2 se suponía más acelerado que en la actualidad, algo frenado por la reducción de demanda de energía.

La idea de que las latitudes polares sufrirán más impacto que las ecuatoriales, es casi general en los tratadistas, así como también la relativamente menor incidencia del incremento de la proporción del gas carbónico en la franja ecuatorial terrestre. Ello se relaciona con la mayor estabilidad de las capas de aire en las zonas árticas, que podría concentrar el efecto de caldeoamiento en los estratos más bajos del aire.

Es conocido el pesimista informe de la Academia de Ciencias de Estados Unidos. Según el mismo, si el bióxido de carbono continúa aumentando en la atmósfera, se producirán alteraciones en el clima. No hay razón, añade, para admitir que no van a ser significativas, y que sobre todo, van a incidir en un aumento de la temperatura en la baja troposfera, debido a la retención en la misma de la radiación infrarroja emitida por la Tierra.

La EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente) de Estados Unidos, se ha hecho eco muy recientemente de la postura de la Academia Nacional de Ciencias y ha iniciado un programa de mentalización pública acerca del problema. En línea con el mismo, aparecieron documentales, reportajes y otras formas de información tales como el documental: *Warming, warning*, que fue emitido por TVE el 28 de septiembre de 1983.

Las consecuencias del incremento del CO_2 no son de sencilla deducción y no puede asegurarse que, al crecimiento de la proporción del CO_2 vaya a seguir, pura y simplemente, un caldeoamiento de la atmósfera, puesto que existen otras causas que pueden originar enfriamientos compensatorios. Una puede ser tal vez, aunque es dudosa, el deterioro de la capa de ozono, y otras la presencia de determinadas sustancias contaminantes de la alta atmósfera que, por mecanismo de difusión, pueda reducir la radiación solar incidente en el suelo. Entre ellas podrían citarse las nubes de ceniza volcánica, capaces de reducir durante largos periodos la radiación solar incidente en la superficie terrestre. Téngase en cuenta que cualquier variación de la constante solar tendría enormes repercusiones en un sentido o en otro. Budyko ha presentado trabajos concluyentes en cuanto a las consecuencias de un cambio de la constante solar.

Los modelos matemáticos, a que antes nos hemos referido, nos pintan un panorama futuro poco confortante en cuanto al crecimiento del CO_2 , de no haber causas compensatorias de sus efectos. En el caso de que se duplicara la concentración de dióxido de carbono, por efecto invernadero, se produciría probablemente un caldeoamiento en la troposfera, de promedio de unos 3°C . Los más fuertes incrementos de temperatura se producirían en las zonas polares. Esta afirmación acerca de dichas zonas polares es una constante de todos los modelos y de todas las hipótesis utilizadas.

Este caldeoamiento transformaría profundamente la circulación atmosférica. Por otra, cabría esperar una masiva fusión de hielos polares, de modo que, en el siglo próximo, podrían subir los niveles de los océanos en 5 m. Algunas previsiones más pesimistas hablan de 8 m para los comienzos de la segunda mitad del siglo próximo.

Una subida del nivel de los océanos en 8 m sumergiría el 1 % de la superficie de España, haría desaparecer prácticamente todas las playas, todos los puertos, unos diez aeropuertos y, lo que es peor, una incalculable riqueza urbana e industrial. Repitamos que esto último sólo es aplicable a las hipótesis más pesimistas, tales como las vertidas en el informe *Warming, warning*. Según las mismas hipótesis, las principales zonas cerealistas del mundo se aridificarían en forma muy sensible, de modo que su rendimiento se comprometería decisivamente.

La mayoría de los tratadistas de esta materia coinciden en una serie de puntualizaciones. La primera, que serán las zonas polares las más afectadas por el caldeoamiento de la troposfera, y las ecuatoriales las menos. Como consecuencia, los intercambios de calor sensible serán menores en las zonas templadas, lo cual puede suponer una debilitación del frente polar y una menor actividad en los fenómenos de inestabilidad baroclínica y posiblemente, menos actividad de las gotas frías. Ello podría llevar a una menor precipitación en las zonas templadas, y sobre todo en las áreas más continentales. En cambio, pudiera intensificarse la precipitación en las áreas tropicales y ecuatoriales. Hoy por hoy, el único camino para vislumbrar este futuro está en ver cómo se modificarán los esquemas de circulación atmosférica. De ahí la importancia de los trabajos de Manabe, Wetherald, Smagorinsky, Holloway, Stone, Spelman y otros. En cualquier caso, habrían de tenerse en cuenta, en una formulación global, todos los agentes que pueden incidir en la circulación general.

Dentro de este panorama tan oscuro y pesimista, hay un aspecto que ofrece

cierta esperanza. Si el CO_2 ha continuado creciendo en la atmósfera, sus efectos térmicos deberían haber sido ininterrumpidos, y de hecho, ello no ha sucedido así. Y en efecto, hay que admitir causas compensadoras, naturales o no, que han podido contrarrestar, a veces con creces, el efecto del dióxido de carbono.

De todas formas, la gravedad del momento actual radica en que los cambios introducidos por el hombre, de este siglo en veinte años, pueden ser equivalentes a mil años en épocas anteriores a los cien últimos años. Frente a las 315 p.p.m. de 1958, muchos autores fijan 290 p.p.m. a principios de siglo, Kellogg apunta 280/290 para 1880 y Woodwell atribuye tal valor aproximado para 1850. Evaluaciones muy toscas que hemos realizado, basadas de la desaparición de los bosques y en la posible eliminación por los océanos, permitirían situar hacia el año 1000 la proporción entre 240 y 260. De admitir tal cosa, resultaría que las generaciones anteriores elevaron el CO_2 en nueve siglos lo que ahora se consigue en treinta años.

Si al menos el hombre se hubiera cuidado de mantener y reponer la capa vegetal, el más natural y benéfico sumidero de CO_2 , las cosas hubieran ido de otra manera. Pero entre el siglo xvi y el xix se produce una verdadera destrucción en la misma. Estas tierras de La Mancha han sido testigos mudos. Cervantes cita en *El Quijote* cinco especies de árboles; en ellas no aparece el pino, pero sí el haya, totalmente desaparecida en todo el planeta en las latitudes de La Mancha. El haya requiere una precipitación de unos 800 mm, algo más del doble de lo que hoy se totaliza anualmente en muchos de los puntos de esta región.

Más aún: la vertiginosa desaparición del bosque es algo inseparable de la mutación climática. En Africa, en amplísimas áreas, hay un ritmo de tala del 3 % anual. Venezuela, en medio siglo, ha perdido un tercio de su bosque; Haití casi ha desaparecido. En España, sobre todo los incendios, nos llevan rápidamente hacia un paisaje lunar.

Alberto Linés Escardó

Meteorólogo